

## ANÁLISIS DE LA EROSIVIDAD DE LAS LLUVIAS PARA EL PARTIDO DE SAN PEDRO (BS. AS.)

FILIPE BEHRENDTS KRAEMER<sup>1-2\*</sup>, CELIO IGNACIO CHAGAS<sup>1</sup>, LUCAS IBAÑEZ<sup>1</sup>,  
PATRICIA CARFAGNO<sup>3</sup>, SEBASTIÁN VANGELI<sup>1</sup>

Recibido: 27/03/2017

Recibido con revisiones: 30/10/2017

Aceptado: 01/11/2017

### RESUMEN

La erosión hídrica es el principal proceso de degradación de las tierras a nivel mundial y afecta a más del 30% de las tierras de la Pampa Ondulada argentina. El presente trabajo tuvo como objetivo determinar y analizarla erosividad de las lluvias (R) para el partido de San Pedro (Bs As, Argentina) para el período (2001-2013). El índice de erosividad de las lluvias individuales ( $EI^{30}$ ) se correlacionó significativamente con las precipitaciones diarias ( $y = 0,1x^{2,014}$ ;  $R^2 = 0,73$ ,  $n=184$ ). El factor R calculado fue de  $5200 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , el cual resultó coherente con valores estimados para la región. En promedio, el 23,9% de los eventos de lluvia diaria registrados y la mitad de la lámina precipitada anual, resultaron erosivos. Los meses estivales presentaron los valores más altos de erosividad. Se observó una estrecha relación entre la variación interanual de la erosividad y el fenómeno de Oscilación del Sur –El Niño. A su vez, el factor C de cobertura y manejo de suelos, estimado para la cuenca del arroyo del Tala mediante imágenes satelitales correspondiente a lotes agrícolas fue de 0,16 y resultó 130% mayor que para los lotes ganaderos (0,07) indicando un alto riesgo diferencial de erosión particularmente durante los meses de crecimiento incipiente de cultivos de verano y en menor medida durante el mes de abril. Contrariamente a lo esperado, la precipitación anual resultó un mejor estimador del factor R que el índice de Fournier modificado (IFM). Se considera que la información obtenida en el presente trabajo, aporta elementos útiles para el diseño de estrategias de uso y manejo racionales de las tierras sujetas a erosión hídrica a nivel de la región en estudio.

**Palabras clave:** Precipitación, energía cinética, intensidad máxima, degradación de tierras.

## RAINFALL EROSIVITY ANALYSIS FOR SAN PEDRO COUNTY (BS. AS.)

### ABSTRACT

Water erosion is the main land degradation process over the world and affects more than 30% of the lands in the Rolling Pampa region of Argentina. The objective of this study was to analyse rainfall erosivity for the San Pedro County during 2001-2013. The individual erosivity index  $EI^{30}$  was significantly correlated with the daily rainfall events ( $y = 0,1x^{2,014}$ ;  $R^2 = 0,73$ ,  $n=184$ ). The calculated R factor was  $5200 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ year}^{-1}$ , which is consistent with estimated regional values. The 23,9% of the registered daily rainfall events and half the mean annual precipitation were considered as erosive. Summer season months showed the highest erosivity values. A close relationship was observed between the intra-annual variation of the erosivity index and the El Niño–Southern Oscillation phenomenon. Moreover, the soil cover and management factor C estimated for the Arroyo del Tala's creek using remote sensing imagery was 0,16 for fields devoted to annual crops, which was 130% higher than the same factor for livestock feeding prairies (0,07). This highlights the differential higher erosion risk particularly during the initial stage of summer crops and to a lesser extent during April. Surprisingly, the annual precipitation value was a better estimator of the R factor than the Modified Fournier Index. We consider that the obtained results contribute to the better design of sustainable management strategies for lands affected by water erosion in the study area.

**Key words:** Precipitation, kinetic energy, maximum intensity, land degradation.

1 Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

2 Instituto de Suelos Castelar, INTA.

3 CONICET

\* Autor de contacto: [filipebk@agro.uba.ar](mailto:filipebk@agro.uba.ar)

## INTRODUCCIÓN

La erosión hídrica (EH) es el principal proceso de degradación de las tierras a nivel mundial (Wischmeier & Smith, 1978; Ongley, 1997). Sus efectos no solo comprometen la productividad de las tierras en los sitios donde la erosión se produce (Bertoni & Lombardi Neto, 1985; Lal, 1995), sino que pueden alterar también la calidad de las aguas que reciben los sedimentos y sustancias disueltas transportados por los escurrimientos (Ongley, 1997; Chagas, 2007; Kraemer, 2011; Kraemer *et al.*, 2013).

Casas & Albarracín (2015) estimaron que el 23 % del territorio nacional está afectado por erosión hídrica, lo cual representa 64,6 millones de hectáreas. Particularmente en la Pampa Ondulada Argentina, la erosión hídrica afecta a más del 30% de las tierras (Iruetia *et al.*, 1988; SAGYP-CFA, 1995), siendo dominante la erosión de tipo laminar o mantiforme. Este tipo de erosión superficial es provocada por el impacto de la gota de lluvia y moviliza sedimentos livianos, partículas poco densas y de escaso tamaño tales como agregados muy pequeños, limos, arcilla y coloides orgánicos. A menudo la ocurrencia de este proceso puede traer aparejada la formación de surcos e incluso cárcavas en posiciones del paisaje convergentes dentro de una misma cuenca (Michelena *et al.*, 2014). Las lluvias y su capacidad potencial para generar pérdida de suelo (erosividad) resultan de primordial importancia entre los factores naturales que afectan a esta región y representa una limitante del ambiente que puede condicionar el uso y el manejo de los suelos (Angulo-Martínez & Beguería, 2009).

Esta importancia es evidenciada en la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS) (Wischmeier y Smith, 1978), la cual predice la magnitud de pérdida media anual de suelo en toneladas por hectárea. En la misma, el factor de erosividad de lluvias denominado R, es el que indica la agresividad climática y expresa el potencial erosivo promedio anual de las lluvias de una región para un período de decenas de años (Wischmeier & Smith, 1959). De esta manera, Wischmeier & Smith (1978), estudiaron por regresión múltiple la relación entre la erosión medida experimentalmente y varias de las características de las lluvias

que la generaron, obteniendo el índice  $EI^{30}$  para lluvias individuales y el factor R anual. Así, dichos autores publicaron valores de R para EEUU y definieron el uso del parámetro en unidades métricas.

En décadas recientes, Rovira *et al.* (1982) y otros investigadores analizaron la información pluviográfica disponible para varias localidades de Uruguay, obteniendo valores de R promedio anual y su distribución mensual para un período de más de 20 años. En Brasil, Eltz *et al.* (2013) calcularon la erosividad de las lluvias para una región de Río Grande do Sul, mientras que Gonçalves (2002) estimó los índices de erosividad promedio mensuales de las lluvias para 14 localidades del Estado de Rio de Janeiro mediante la información brindada por registros pluviométricos.

Aun cuando la EUPS en general y el cálculo del factor R en particular, no reflejen en forma exacta el proceso erosivo (Risse *et al.*, 1993; Renard *et al.*, 1997), la información que se obtiene al aplicar dicho modelo permite valorar la relevancia y distribución que tiene a nivel local y regional este proceso degradativo. Debe tenerse en cuenta que el factor R surge del análisis de la intensidad de lluvia a partir de registros pluviográficos. Este tipo de registros es generalmente difícil de conseguir, tanto en nuestro país como en el mundo (Salako *et al.*, 1995; Silva, 2004). Es por esta razón que muchos autores han intentado relacionar el factor R con otros parámetros más sencillos de obtener y calcular (Jordán & Bellinfante, 2000), como por ejemplo el índice modificado de Fournier (IMF), el cual se caracteriza por tener valor regional, ser fácilmente calculable a través de registros pluviométricos, y tener una alta correlación con el factor R de erosividad de EUPS (Arnoldus, 1977). Por su parte, en nuestro país, Rojas & Conde (1985) obtuvieron un estimador del factor R a partir de datos pluviométricos y un coeficiente de ajuste. Si bien existen numerosas localidades en Argentina que poseen estaciones que registran datos meteorológicos, solo en algunas de ellas se han realizado mediciones con pluviógrafo. A partir de lo expuesto surge la necesidad de contar con indicadores del potencial erosivo de las precipitaciones ajustados mediante registros pluviográficos locales, que permitan reflejar acabadamente la fragilidad de distintas áreas.

Por otro lado, en las últimas décadas se observó un aumento significativo en la frecuencia de eventos extremos de precipitaciones en la región pampeana (Grimm *et al.*, 2000; Podestá *et al.*, 2009). En este sentido, Saluzzio (2010), destaca una tendencia en el incremento de la erosividad de las lluvias desde la década de 1930 hasta nuestros días en la provincia de Entre Ríos, lo cual está asociado con los corrimientos de las isohietas hacia el oeste de la región pampeana, como hubieran reportado oportunamente Sierra *et al.* (1993/94, 1995). Uno de los principales fenómenos también asociado a esta variabilidad climática es el fenómeno “El Niño Oscilación del Sur” (ENOS), resultante de la interacción del océano y la atmósfera en el océano pacífico tropical el cual produce cambios en los parámetros climáticos, en especial en las lluvias (Stritzler *et al.*, 2007). Durante los años “El Niño/La Niña”, en la región se registran precipitaciones superiores/inferiores a lo normal durante el período octubre-diciembre y en el otoño subsiguiente. De acuerdo con la mayoría de las proyecciones climáticas de largo plazo, además del aumento en la temperatura, se espera un incremento en la frecuencia de eventos extremos en las precipitaciones, es decir sequía y/o excesos de lluvias (Magrin *et al.*, 2014). Por lo tanto, es de interés el estudio de los cambios de R ante esta variabilidad climática y de esta forma proyectar escenarios de erosión hídrica a corto y mediano plazo.

De forma concomitante, se ha registrado una intensificación en la actividad agrícola lo cual también ha contribuido a acelerar la vulnerabilidad de los suelos de la región a la erosión hídrica (Ares *et al.*, 2010; Kraemer *et al.*, 2013). Esta intensificación ha resultado en el desplazamiento de la ganadería extensiva a sectores marginales con mayor fragilidad a la degradación (Chagas, 2007; Kraemer, 2011), mientras que en los nuevos sectores agrícolas, suelen avanzar también sobre suelos más frágiles, donde la tendencia ha sido la inclusión de una alta frecuencia de soja en la secuencia agrícola y en muchos casos monocultura de este cultivo (Novelli *et al.*, 2011).

En el área de San Pedro (Bs. As.), particularmente la cuenca del Arroyo del Tala, diversos trabajos ponen de manifiesto la fragilidad intrín-

seca de los suelos regionales a sufrir erosión hídrica, así como la incidencia de las lluvias erosivas, la condición de humedad antecedente y los efectos de corto y largo plazo del manejo de las tierras sobre este proceso de degradación (Chagas & Santanatoglia, 2016; Santanatoglia *et al.*, 2012). Además, el incremento del área sembrada con monocultivos observada en los últimos años (Viglizzo *et al.*, 2011) ha contribuido a crear condiciones favorables para la acción erosiva del agua, debido a que el suelo permanece desprotegido durante mayor período de tiempo (Sanford, 1982). Así, debe conocerse el estado dinámico de la cobertura a lo largo del año y los momentos de mayor agresividad climática (mayor R) para identificar los periodos más susceptibles a la erosión e implementar manejos efectivos para el control de dicho proceso.

Los objetivos de este trabajo fueron a) determinar la erosividad de las lluvias para la localidad de San Pedro (Provincia de Buenos Aires) a partir del análisis de registros pluviográficos y pluviométricos para el período 2001-2013, b) comparar la estimación de la erosividad de las lluvias entre modelos desarrollados a partir de información pluviométrica con aquellos con información pluviográfica y c) analizar los resultados de erosividad de lluvias en el marco de la variabilidad climática y de la cobertura del suelo en la cuenca bajo estudio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

El área de estudio corresponde a la cuenca del Arroyo del Tala (865 km<sup>2</sup>) ubicada en el sector NE de la provincia de Buenos Aires. Ocupa parcialmente los partidos de San Pedro, Ramallo, Bartolomé Mitre y Pergamino. De acuerdo con la clasificación de Köpen, el clima del área es templado húmedo. Descripciones más detalladas sobre la fisiografía y climatología de la Cuenca del Tala puede encontrarse en Chagas (2007).

En particular, los datos para la determinación de R corresponden al área de influencia de establecimiento “Los Patricios” ubicado en la subcuenca media. Esta subcuenca es agrícola y ga-

nadera, en donde en los últimos años, ha existido un fuerte desplazamiento de la ganadería vacuna hacia actividades agrícolas, principalmente en sectores asociados al plano aluvial del río Tala (Kraemer *et al.*, 2013). Durante el período de análisis (2001-2013) la rotación agrícola presentó un alto porcentaje de cultivos de verano (principalmente soja y maíz) y en menor medida de invierno (trigo) (Chagas *et al.*, 2016), siendo que en algunos años la participación de trigo en la rotación fue casi inexistente. El uso agrícola se corresponde con suelos con fases por erosión de Argiudoles vérticos y típicos, mientras que el uso ganadero está asociado al plano aluvial del arroyo del Tala, ocupado por Natracuoles y Natracualfes afectados por distinto grado de EH (INTA, 1973; Chagas, 2007).

#### Cálculo de erosividad de lluvias (*R*)

Para realizar el cálculo de la erosividad de las lluvias para la localidad de San Pedro para el período (2001-2013) se recopilaron los registros pluviográficos obtenidos a partir de una estación meteorológica automática (marca Vantage, Mercobras) instalada en el establecimiento "Los Patricios" perteneciente a la Universidad de Buenos Aires (33°48'26.54" S 59°54'38.13"O) y se complementó con registros parciales provenientes de una estación equivalente ubicada en el establecimiento "La Esperanza" (Santa Lucía, Partido de San Pedro) (33°50'40.27" S 59°45'13.15"O).

A partir de los registros pluviográficos se aplicó la metodología citada por Wischmeier y Smith (1978) y aplicada en nuestro país por Rojas & Conde (1985) y Ares *et al.* (2010) y mencionada por Saluzzio (2010) entre otros.

Para el cálculo de *R* se consideró:

- (i) Separación de lluvias consideradas erosivas.  
El índice de erosividad *R*, propuesto por Wischmeier y Smith, (1978), toma en consideración solo aquellas lluvias que superan los 13 mm o las que superan la intensidad de 8 mm en 15 minutos con una separación entre eventos, de 6 o más horas. Al carecer de información para aplicar este último criterio se consideraron como lluvias erosivas, solo las que superaban los 13 mm.

- (ii) Cálculo de la energía cinética total de cada lluvia erosiva (EC total).

En primer lugar, se calculó  $EC\text{ cm}^{-1}$ , para cada período de 30 minutos, tomando en cuenta la intensidad horaria de lluvia de dicho período (ecuación 1)

$$EC\text{ mm}^{-1} = 0,119 + 0,0873 \log^{10} [(pp\text{ corregida en 30 min (mm)})] \quad (1)$$

Donde pp= precipitaciones en milímetros

Luego se obtuvo por sumatoria la EC total de cada lluvia (ecuación 2):

$$EC\text{ total (MJ mm ha}^{-1}) = \sum [(EC\text{ mm}^{-1}) * pp\text{ corregida en 30 min (mm)}] \quad (2)$$

- (iii) Cálculo de la intensidad máxima en 30 minutos de cada lluvia erosiva ( $I^{30}$ ).

Se seleccionó la media hora en la cual la precipitación fue más intensa. Esos milímetros se introdujeron en la ecuación (3).

$$I^{30}\text{ (mm h}^{-1}) = [(pp\text{ máxima en 30 min (mm)} * 2)] \quad (3)$$

- (iv) Se obtuvo el índice  $EI^{30}$  de cada lluvia mediante el producto  $EC * I^{30}$ .

$$EI^{30}\text{ (MJ mm ha}^{-1}\text{ h}^{-1}) = EC\text{ total (MJ ha}^{-1}) * I^{30}\text{ (mm h}^{-1}) \quad (4)$$

- (v) Se sumó en forma anual este valor y se promedió para el período considerado (2001-2013).

#### Registros incompletos

La información pluviográfica del período (2001-2013) presentó alrededor de un 5% de registros faltantes debido a roturas de aparatos, robos, acción de insectos y roedores entre otros. Dicha información fue complementada por datos pluviométricos brindados por la estación meteorológica de INTA-San Pedro (<http://inta.gob.ar/documentos/informacion-agrometeorologica-eea-san-pedro>). Debido a que ambas fuentes de información fueron registrados con metodologías diferentes (pluviógrafo en "Los Patricios" y "La Esperanza" por un lado y pluviómetro en INTA-San Pedro por otro) se realizó una corrección de los valores pluviográficos obtenidos, empleando como referencia las lluvias diarias registradas por EEA San Pedro. Dicho factor se obtuvo para cada uno de los años estudiados y su valor resultó en promedio de 1,11.

Por otra parte, se procedió a estimar la  $EI^{30}$  para aquellas lluvias que no contaban con información pluviográfica. Para tal fin se ajustaron ecuaciones que relacionaron las precipitaciones erosivas diarias (mm) y su  $EI^{30}$  correspondiente surgido de los registros pluviográficos. Estos ajustes se realizaron en las distintas estaciones del año para descartar diferencias en el comportamiento estacional de dicha relación.

A partir de esta información, se realizaron cálculos de erosividad anual media o valor R, para el período (2001-2013), su distribución estacional y mensual.

#### Variabilidad climática e Índices climáticos

La información de erosividad de lluvias ( $EI^{30}$  y R) fue contrastada con los años El Niño y La Niña (Fenómeno ENOS) a partir del índice ONI (Oceanic Niño Index) ([http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_change.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_change.shtml)), el cual se elabora a partir de una serie de las anomalías de la temperatura superficial marina. Además, se contrastaron los valores de R con la caracterización de los años Niño y Niña de acuerdo a su intensidad según el ONI.

Por otra parte, y teniendo en cuenta la dificultad de contar con valores de R medidos a nivel local, se evaluaron diferentes relaciones entre las lluvias anuales o mensuales, R y el Índice de Fournier Modificado (anual) (Arnoldus, 1977) (ecuación 5) y mensual (Lombardi, 1977) (ecuación 6).

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} p^2 / P \quad (5)$$

Donde: p es la precipitación mensual y P es la cantidad de lluvia anual

$$IFM_1 = \sum_{i=1}^{12} p_1^2 / P_1 \quad (6)$$

Donde:  $p_1$  es la precipitación mensual media de la serie (2001-2013) y  $P_1$  es la precipitación anual media de la serie (2001-2013)

#### Estimación del factor C de cobertura del suelo

Para relacionar la erosividad de lluvias con el riesgo de EH en la cuenca, se estimó el factor C de la EUPS. Dicho factor, denominado "de cobertura y manejo" es el cociente entre la pérdida de suelo en condiciones específicas de uso y manejo respecto a la pérdida de suelo de una parcela de referencia con suelo desnudo y labrado a favor de la pendiente (Wishmeier & Smith, 1959). Es considerado, en conjunto con el R, como el factor más importante y dinámico de la USLE (Benkobi *et al.*, 1994).

Para estimar el valor de C, se utilizó una aproximación donde se transforma el Índice Verde Normalizado, (NDVI), obtenido a partir de sensores remotos, en valores del Factor C de la EUPS (Van der Kniff *et al.*, 1999). El NDVI fue obtenido del producto MOD13Q1 (ORNL DAAC, 2008) del sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), ubicado en el satélite Terra. El MOD13Q1 es un compuesto de 16 días de intervalo de 250 m de resolución espacial, obtenido a partir de las bandas rojo (B1: 620-670 nm) e Infrarrojo cercano (B2: 841-876 nm) de MODIS.

Mediante interpretación visual de imágenes TM y OLI de Landsat 5 y 8, respectivamente, se seleccionaron lotes con usos contrastantes en el período de estudio (2001-2013). Fueron descartados aquellos lotes que, por su dimensión o geometría, no pudieron ser interceptados con al menos un píxel puro de MODIS, resultando en un número final de 40 lotes, agrícolas (n=20) y ganaderos (n=20).

La ecuación de Van der Kniff *et al.*, (1999) establece la siguiente relación (ecuación 7):

$$C = \exp \left( -\alpha \times \left( \frac{NDVI}{\beta - NDVI} \right) \right) \quad (7)$$

De acuerdo a la bibliografía disponible para otros sitios, se utilizó un valor  $\alpha$  de 2 y  $\beta$  de 1 (Vrielig, 2006). Se calculó el Factor C mensual y anual para cada uno de los usos, para las campañas comprendidas entre 2000-2001 y 2012-2013, inclusive.

### Análisis estadístico

Para relacionar las distintas variables meteorológicas se utilizaron regresiones lineales simples (Snedecor & Cochran, 1980). Además, para evaluar el comportamiento estacional de las precipitaciones diarias y el  $EI^{30}$ , se probaron las diferencias estadísticas entre las ordenadas al origen y las pendientes. Para determinar la asociación entre la variabilidad climática (ENSO) y el R, se utilizó un análisis de correlación (Pearson). Las diferencias entre los valores de C agrícolas y ganaderos se determinaron mediante un test T Student ( $P < 0,05$ ). Todos los análisis estadísticos fueron realizados mediante el programa Infostat/P v1.1 (2002).

## RESULTADOS

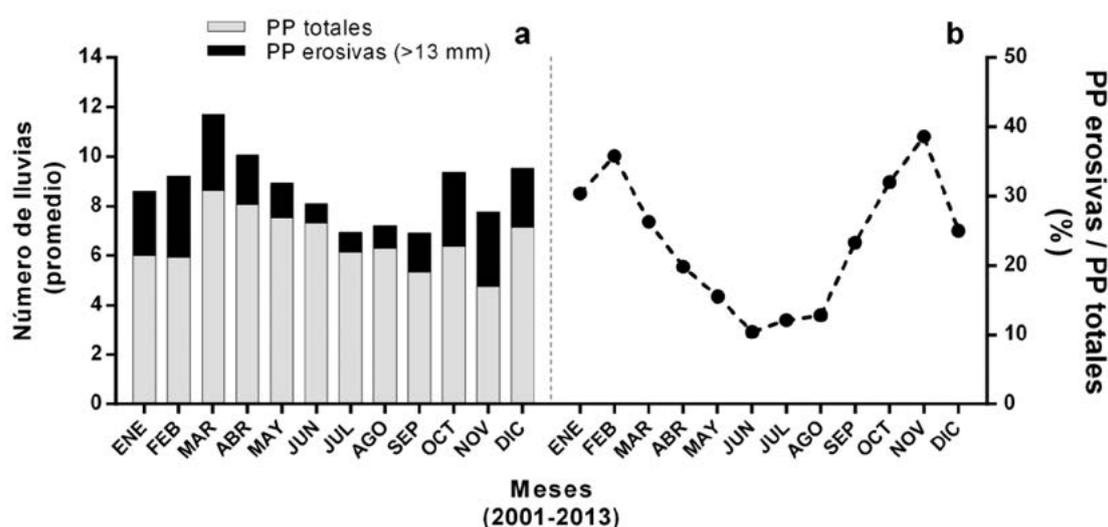
### 3.1 Análisis descriptivo de las lluvias (2001-2013)

El promedio de precipitación anual obtenido para la serie analizada, fue de 1046,5 mm. Si se compara este valor con el que surge del promedio de la serie 1965-2015 publicada por INTA San Pedro (1067,4 mm), se aprecia que la diferencia resulta menor al 2%, indicando así la representatividad del periodo de lluvias

analizado. Durante este período se pudo observar que los meses más lluviosos luego de fueron y luego de promedio febrero (137,9 mm) y marzo (136,9 mm) mientras que el mes más seco de la serie fue junio alcanzando un promedio tan solo 29,8 mm. A su vez el año 2002, fue aquel que acumuló mayor volumen de lluvia, alcanzando un total de 1631,3 mm mientras que el año 2008 fue el año más seco de la serie (464,8 mm).

En la **Figura 1**, se observa que el número de eventos de precipitación anuales promedio para la serie fue de 105. Los mismos se distribuyeron estacionalmente de la siguiente manera: durante el invierno, se produjo la menor cantidad de eventos (20,2%) en promedio, mientras que durante el verano, se registró la mayor cantidad de eventos de precipitación (28,3%). Otoño y primavera presentaron valores intermedios, con porcentajes de 26,0 y 25,5% respectivamente.

Las precipitaciones erosivas (>13 mm) como promedio para la serie, se registraron mayormente durante la primavera ( $n=8$ ) y el verano ( $n=9$ ), correspondiendo a un porcentaje del total de 28,3% y 36% respectivamente. El otoño y el invierno presentaron un mismo



**Figura 1.** a) Número de precipitaciones (PP) totales y erosivas promedio; b) porcentaje de precipitaciones erosivas para cada mes del año de la serie 2001-2013 para San Pedro (Buenos Aires).

**Figure 1.** a) Number of total and mean erosive rainfall; b) erosive rainfall percentage for each month of the year for 2001-2013 for San Pedro (Buenos Aires).

promedio de número de eventos ( $n=4$ ) correspondiendo a un 16% de las lluvias erosivas totales. El verano presentó la mayor relación porcentual entre las precipitaciones erosivas respecto de las totales, con un valor de 30,5%. Valores similares, aunque algo inferiores fueron hallados para la primavera (30%). Contrariamente, durante el otoño se registró la menor relación entre precipitaciones totales y erosivas, con un valor de 14,7% mientras que el invierno presentó una relación del 18,9%.

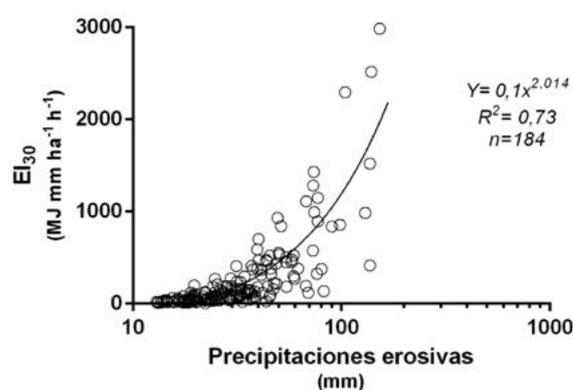
Anualmente, el 23,9% de las precipitaciones totales registradas, es decir casi un cuarto de los eventos producidos, resultaron erosivas, en promedio para la serie. Considerando el promedio de precipitación anual para la serie (1046,5 mm), el total de eventos de precipitación anual promedio ( $n=105$ ) y que de los mismos, 25 resultaron erosivos y 85 no erosivos, se pudo comprobar que casi la mitad de la lámina de lluvia anual media (552,5 mm), correspondía a precipitaciones erosivas.

Por su parte, los eventos correspondientes a cada mes del año se muestran en la **Figura 1a**. El mes de Marzo registró en promedio el mayor número de precipitaciones totales, ascendiendo a 12 eventos. Por el contrario, julio, agosto y septiembre fueron aquellos meses que registraron en promedio el menor número de precipitaciones con un valor de 7 lluvias totales. Con respecto a las lluvias erosivas, enero, febrero, marzo, octubre y noviembre fueron los meses que registraron los valores más altos ( $n=3$ ). Luego le siguieron abril, septiembre y diciembre con 2 eventos erosivos y por último mayo, junio, julio y agosto con tan solo un evento erosivo.

En la **Figura 1b** se observa que los meses con proporciones más altas de lluvias erosivas frente a las lluvias totales, fueron octubre, noviembre, enero y febrero, con valores que superaban el 30%. Noviembre fue el mes que registró el mayor valor (38,6%). Los meses cercanos al invierno registraron las menores relaciones porcentuales, siendo junio el mes de menor relación, durante el cual el 10,4% de los eventos totales de lluvia resultaron erosivos.

### 3.2 Determinación de $EI^{30}$ y R

En primer término, se estudió la relación entre las precipitaciones diarias y su correspondiente valor de  $EI^{30}$ . Si bien esta relación presentó una tendencia hacia valores más elevados de  $EI^{30}$  en los periodos estival y otoñal, no se encontraron diferencias significativas en la ordenada al origen o la pendiente, entre los modelos de regresión lineal ajustados para cada estación del año ( $P>0,5$ ). Por tal motivo, se procedió a ajustar una única curva que permitiera relacionar a todas las lluvias erosivas (184 eventos) comprendidas entre 2001 y 2013, con su correspondiente  $EI^{30}$  (**Figura 2**). En dicha figura pueden observarse casos puntuales en los cuales elevados niveles de precipitación no correspondieron a altos valores de erosividad por tratarse de eventos con duraciones muy extendidas en el tiempo pero con una intensidad no tan elevada. A pesar de ello la relación obtenida logró explicar la mayor parte de la variabilidad observada, constituyéndose en una herramienta robusta para poder estimar los valores de  $EI^{30}$  faltantes en la serie de lluvias diarias analizada.



**Figura 2.** Relación entre precipitación diaria registrada y  $EI^{30}$ .  
**Figure 2.** Relationship between daily rainfall and  $EI^{30}$ .

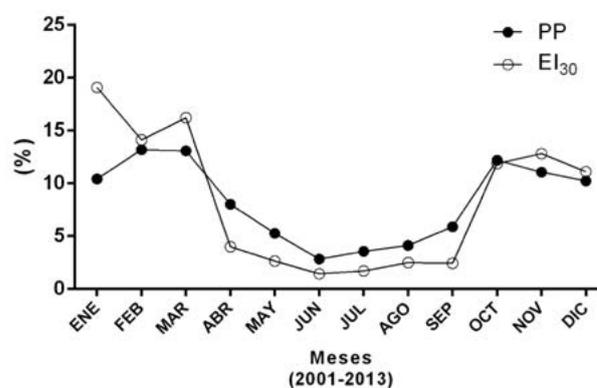
Una vez completada la información de erosividad de dicha serie, se logró calcular el promedio anual de la sumatoria de valores de  $EI^{30}$ , que correspondería al factor R de la ecuación universal de la pérdida de suelo (EUPS) (Wischmeier & Smith, 1958). Dicho valor ascendió a 5200 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para la serie analizada en el área de San Pedro (Buenos Aires). Anteriormente, Rojas & Conde (1985) con el objetivo de obtener un mapa de líneas de igual potencialidad erosiva de las lluvias (isoerodentas), estimaron el valor R

mediante la lectura de fajas pluviográficas para la serie 1950/71, complementado con la aplicación de técnicas estadísticas para diferentes ciudades de Argentina: Rosario (Santa Fé): 6030; Gualeguay (Entre Ríos): 6000; Gualeguaychú (Entre Ríos): 5270; Victoria (Entre Ríos): 5980; Pergamino (Buenos Aires): 4730. Como se puede observar, los valores de R calculados en aquel trabajo resultaron coherentes con el valor de 5200 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> obtenido aquí para San Pedro. En este sentido, debe mencionarse que la serie utilizada por Rojas & Conde (1985) y la utilizada en este trabajo presentaron un promedio anual de precipitaciones muy similar. Por el contrario, Di Leo *et al.* (1999) y Ares *et al.* (2010) observaron una importante sobreestimación de los valores de R correspondientes al sur de la provincia de Buenos Aires mencionados por Rojas & Conde (1985). Si bien se trataba de períodos diferentes, la actualización del R presentó valores más bajos aún con medias anuales más altas que en el período tomado por Rojas & Conde (1985). Por otro lado, otros trabajos han actualizado los valores de R para diversas localidades Argentinas tomando la serie 1995/05 señalando un incremento de R de entre 10 y 15% asociado a un aumento en las precipitaciones (Saluso, 2004, 2008).

Resulta también de interés conocer la variación del EI<sup>30</sup> mensual, a fin de poder predecir el efecto de prácticas de manejo (i.e. rotaciones) sobre la EH. El mes de enero registró los mayores niveles de erosividad promedio alcanzando un valor de 992,7. En segundo y tercer lugar se posicionan los meses de marzo y febrero con valores de 843 y 735 respectivamente. La mayor erosividad se verificó durante el semestre cálido mientras que los menores niveles de erosividad se registraron en los meses de junio y julio: 75 y 89 respectivamente, coincidiendo con el semestre frío. Los meses restantes registran valores intermedios.

En línea a lo que se esperaba, los valores de EI<sup>30</sup> y las precipitaciones mensuales medias presentaron una estrecha relación (**Figura 3**). Durante los meses de mayores precipitaciones promedio, el EI<sup>30</sup> también resultó elevado. Sin embargo la distribución intraanual porcentual no fue coincidente: en el semestre cálido, el EI<sup>30</sup> superó a las

precipitaciones de ese semestre, mientras que lo contrario se observó en el semestre frío.



**Figura 3.** Distribución mensual (%) de la precipitación (PP) y del EI<sup>30</sup> para el período 2001-2013 para San Pedro (Buenos Aires)

**Figure 3.** Monthly distribution (%) of rainfall (PP) and EI<sup>30</sup> for 2001-2013 in San Pedro (Buenos Aires).

### 3.3 Coeficiente de cobertura C y erosividad

Para todas las campañas estudiadas, el valor factor C de la EUPS promedio anual fue significativamente mayor en lotes agrícolas (C=0,16) que para los ganaderos (C=0,07) (P<0,05; datos no mostrados). Ambos valores de C resultaron acordes al uso de la tierra reportado por Marelli *et al.* (2012) y Scotta & Gvozdenovich (2014) para las provincias de Córdoba y Entre Ríos, respectivamente. Así, el C agrícola se asemejó al C calculado para el monocultivo de soja (0,13-0,15). Novelli *et al.* (2011), mencionan para la región pampeana un incremento del monocultivo de soja, con muy baja participación de cultivos invernales (Pinto & Piñeiro, 2012).

El Factor C estimado para los lotes ganaderos del presente trabajo, se asemejó al valor asignado a praderas "viejas" (0,06) de escasa protección relativa frente a campos naturales en buen estado (0,02) (Scotta & Gvozdenovich, 2014; Marelli *et al.*, 2012).

Esto podría estar relacionado con la naturaleza de la metodología utilizada en el presente trabajo, que tiende a subestimar la protección del suelo ejercida por la vegetación senescente (De Jong, 1994). Sin embargo, los valores obtenidos para San Pedro resultarían razonables, por tratarse de lotes de media a baja productividad, con síntomas

de degradación física acompañada con procesos de EH (Chagas *et al.*, 2007; Kraemer *et al.*, 2011).

A partir de la distribución de R y C intraanual obtenidos, se procedió a analizar los períodos más susceptibles a la erosión hídrica a nivel regional. La **Figura 4** permite apreciar un pico de erosividad en octubre y noviembre, coincidente con valores relativamente altos del factor C en los lotes agrícolas estudiados. Dichos valores están relacionados a la falta de un cultivo en pie en esta época, debido a la baja participación de los cultivos de invierno dentro de la rotación (Pinto & Piñeiro, 2012) y a la siembra tardía de los cultivos de verano. Más aún, la cobertura de residuos de la cosecha anterior también sería escasa, debido a que el cultivo predominante en las rotaciones fue la soja, el cual deja una baja cantidad rastrojo remanente y de rápida mineralización (Sanford *et al.*, 1982). Esto refuerza la idea que a pesar de dominar el sistema de siembra directa en la zona, las rotaciones implementadas resultarían insuficientes para proteger al suelo de los agentes erosivos (Chagas & Santanatoglia, 2016). En contrapartida, durante los meses de enero, febrero y marzo, los valores de C de lotes agrícolas resultaron más conservacionistas que en los lotes ganaderos, debido a la elevada cobertura que proveen los cultivos de verano sumado a la merma de productividad de los pastizales en periodo estival (**Figura 4**).

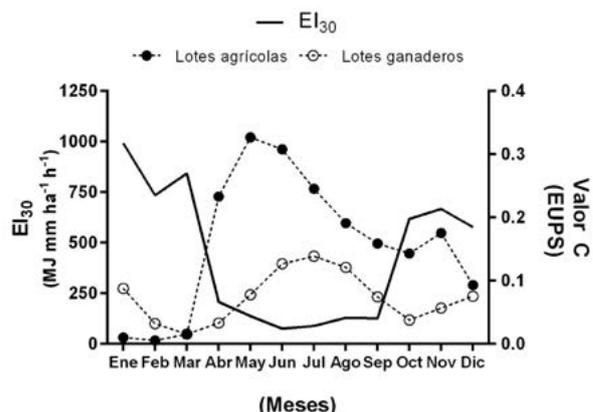


Figura 4. EI<sup>30</sup> y valor C (EUPS) mensual.

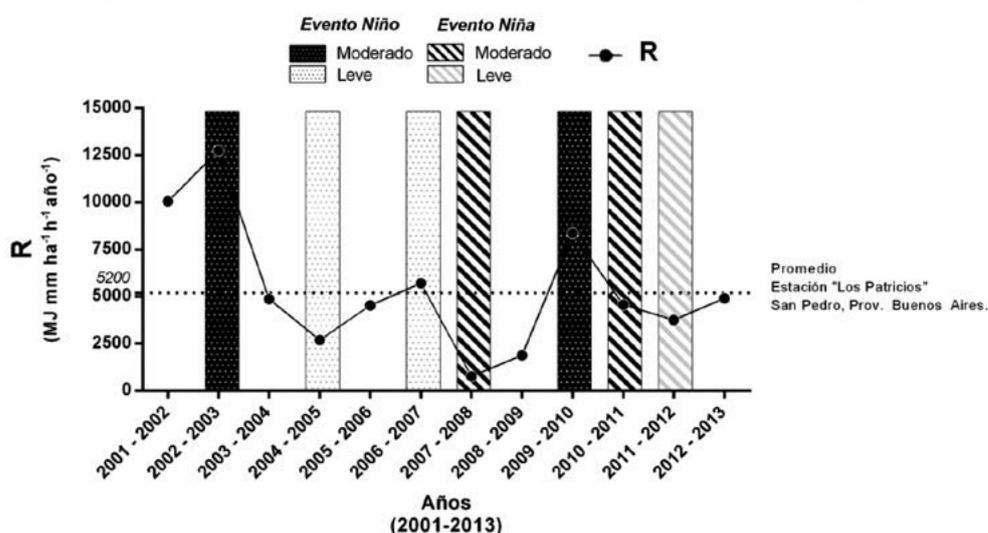
Figure 4. Monthly EI<sup>30</sup> and C values (USLE)

### 3.4 Variabilidad climática (ENSO) y R

Para evaluar la incidencia de los patrones climáticos temporales que pudiesen afectar los valores hallados de R, se analizó la relación entre la ocurrencia de años El Niño y La Niña, con respecto a los valores de R obtenidos. El índice ONI se correlacionó positivamente con el EI<sup>30</sup> anual presentando un coeficiente de correlación de 0,59 (P<0,05; n=13). Si se contrastan los valores anuales de R con la caracterización de años niño o niña y su grado de intensidad (**Figura 5**) se puede observar claramente la relación entre los períodos 2002-2003 y 2009-2010, en los cuales ocurrieron eventos niño moderado y los picos de erosividad. Durante el período 2002-2003 se registraron en la región pampeana inundaciones que comprometieron al sector, por la pérdida de superficie sembrada, disminución de la existencia

**Figura 5.** Erosividad (R) anual y años “El Niño” y “La Niña” para el período 2001-2013. En línea punteada se presenta el R promedio del período. Las barras indican año “El Niño” y “La Niña” y su intensidad.

**Figure 5.** Annual erosivity (R) for 2001-2013 and “El Niño” y “La Niña” years for 2001-2013. Dotted line indicates mean R for the period. Bars indicates “El Niño” and “La Niña” year and their intensity.



de cabezas en la producción lechera, entre otros (Taboada & Lavado, 2009).

En cuanto a los años El Niño de intensidad leve, sucedidos en los períodos 2004-2005 y 2006-2007, los niveles de erosividad obtenidos se acercaron al promedio para la serie. Por otro lado, los períodos 2007-2008 y 2010-2011 fueron año niña moderado. El primero de ellos coincidió con el valor mínimo de R de la serie analizada, asociado a un año de sequías intensas, que también trajo aparejado mermas en el sector (Ravelo *et al.*, 2014), mientras que el segundo se acercó más a los valores medios de la serie. En cuanto al período 2011-2012, año Niña leve, los valores de erosividad también se aproximaron al promedio de la serie. Las evidencias muestran que en la mayoría de los casos existió una relación entre la erosividad registrada y el fenómeno ENOS.

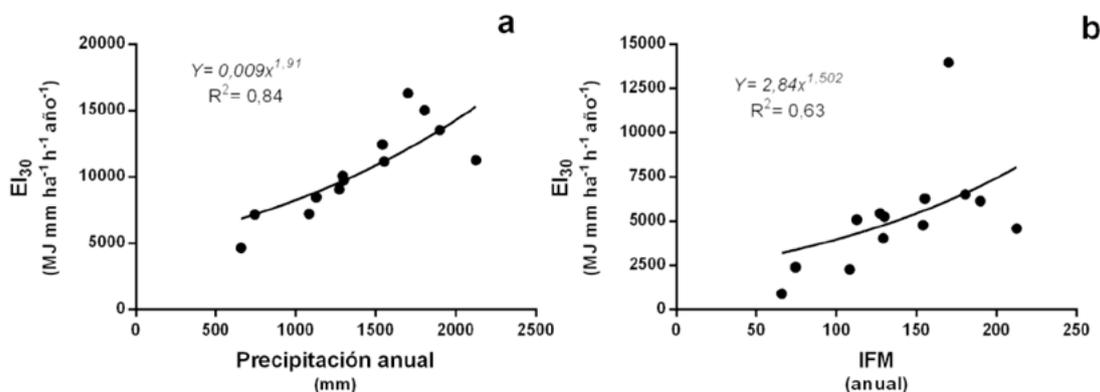
### 3.5 Erosividad estimada a través de las lluvias diarias y del índice de Fournier modificado (IFM)

Debido a la dificultad de contar con información de intensidad de lluvias para el cálculo de R, se analizó la relación entre R y algunas variables de fácil obtención. Las regresiones entre  $EI^{30}$  y las precipitaciones anuales, y entre  $EI^{30}$  y IFM (anual) se muestran en la **Figura 6 a y b**. Tanto el IFM como la precipitación anual lograron un elevado ajuste con respecto a los valores de  $EI^{30}$  (**Figura 6**). No obstante, la predicción del  $EI^{30}$  a partir de las lluvias anuales presentó un coeficiente de determinación mayor al presentado por el IFM. Esto

indicaría que la relación entre las precipitaciones y el R en esta zona de estudio no estaría influenciada por una gran estacionalidad.

En la **Tabla 1**, se comparan las estimaciones de R a partir de la precipitación media anual y el IFM con algunos modelos de Argentina y del mundo. En los modelos presentados para el centro y norte de la Argentina (Maggi *et al.*, 2002) las precipitaciones anuales fueron más efectivas en predecir R con respecto al IFM, mientras que en algunas zonas de Estados Unidos y en el sudeste australiano, el IFM presentó un mejor coeficiente de determinación. Las mencionadas fórmulas subestimaron, en la mayoría de los casos, el valor de R medido para San Pedro, observándose en algunos casos una diferencia de alrededor del 50%. Esto resalta el carácter local de dichas fórmulas, siendo su extrapolación muy restringida.

Gonçalves (2002) en el estado de Río de Janeiro (Brasil), obtuvo ecuaciones para estimar el valor R de las lluvias a partir de registros pluviométricos utilizando un índice de Fournier modificado mensual ( $IMF^1$ ). De igual manera procedieron otros investigadores (Lombardi Neto, 1977; Pereira, 1983; Carvalho, 1987; Oliveira & Medina, 1990; Roque *et al.*, 2001). Al emplear el  $IMF^1$  (base mensual), la nueva ecuación alcanzó un coeficiente de determinación de 0,82 y un estimado de R de 4798 mientras que la utilización de la precipitación media mensual presentó un  $R^2$  de 0,65 y una estimación de R muy alto con un valor de 7200. Si bien esta aproximación mensual mejoró levemente la predicción del R com-



**Figura 6.** Relación entre  $EI^{30}$  y a) precipitación anual y b) IFM (anual).

**Figure 6.** Relationship between  $EI^{30}$  and a) annual rainfall and b) IFM (annual).

**Tabla 1.** Ecuaciones, coeficiente de determinación y estimación de R a partir de la precipitación media anual (P) y el Índice Modificado de Fournier (anual) (F) para datos propios y de otros autores.

**Table 1.** Equations, determination coefficient and R estimation with mean annual rainfall (P) and Modified Fournier Index (annual) (F) for own data and other authors.

<i>Datos propios</i>							
Argentina		Argentina		Sudeste Australiano		Estados Unidos	
San Pedro, Buenos Aires		(Centro y norte, Maggi <i>et al.</i> , 2002)		(Yu & Rosewell, 1996)		(Renard & Freimund, 1994)	
$R = (0,009 * P^{1,91}) * 10$	R <sup>2</sup> : 0,85	$R = 0,0374 * P^{1,61}$	R <sup>2</sup> : 0,87	$R = 0,0438 * P^{1,61}$	R <sup>2</sup> : 0,91	$R = 0,0483 * P^{1,61}$	R <sup>2</sup> : 0,81
	R= 5273		R= 2724		R= 3187		R= 3514
$R = (2,84 * F^{1,50}) * 10$	R <sup>2</sup> : 0,63	$R = 5,944 * F^{1,35}$	R <sup>2</sup> : 0,85	$R = 3,82 * F^{1,41}$	R <sup>2</sup> : 0,92	$R = 0,7397 * F^{1,85}$	R <sup>2</sup> : 0,81
	R= 4699		R= 4642		R= 4027		R= 6743

parada con el empleo del IFM anual, el uso de la precipitación anual continuó siendo más efectivo para las condiciones locales de San Pedro.

## CONCLUSIONES

Para el período analizado (2001-2013) el índice de erosividad de las lluvias individuales (EI<sup>30</sup>) se correlacionó significativamente con las precipitaciones diarias ( $y = 0,1x^{2,014}$ ; R<sup>2</sup>: 0,73; n=184). El modelo ajustado podría ser utilizado para estimar la erosividad de las lluvias diarias a nivel del área bajo estudio ante la ausencia de datos pluviográficos.

El valor del factor de erosividad de las lluvias R obtenido para el partido de San Pedro, fue de 5200 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, el cual resultó coherente con los índices regionales calculados oportunamente por Rojas y Conde (1985) para esta área. En promedio, el 23,9% de los eventos de lluvia diaria registrados y la mitad de la lámina precipitada anual resultaron erosivos. Los meses estivales presentaron los valores más altos de erosividad mientras que los meses de junio y julio resultaron los menos erosivos.

Se observó una estrecha relación entre la variación interanual de la erosividad y el fenómeno ENOS ya que los años correspondientes a “El Niño” tendieron a registrar mayores valores de erosividad que los años clasificados como “La Niña”.

Con respecto a factor de cobertura y manejo de suelos de la EUPS, estimado para la cuenca

del arroyo del Tala mediante imágenes satelitales durante el periodo analizado, su valor medio correspondiente a lotes agrícolas fue de 0,16, y resultó 130% mayor que para los lotes ganaderos (0,07) indicando un alto riesgo diferencial de erosión particularmente durante los meses de crecimiento incipiente de cultivos de verano: octubre y noviembre y en menor medida, durante el mes de abril. Contrariamente a lo esperado, la precipitación anual resultó un mejor estimador del factor R que el índice de Fournier modificado (IFM).

Se considera que la información obtenida en el presente trabajo, validada mediante mediciones y registros recientes de mediano plazo, aporta elementos útiles para el diseño de estrategias de uso y manejo racionales de las tierras sujetas a erosión hídrica a nivel de la región en estudio.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado a través del proyecto UBACYT 20020130100709BA (Grupos Consolidados). 2014-2017.

## BIBLIOGRAFÍA

- Angulo Martínez, M & S Beguería. 2009. Estimating rainfall erosivity from daily precipitation records: A comparison among methods using data from the Ebro Basin (NE Spain). *J. Hydrol.* 379:111-121.
- Ares, MG; M Varni & I Entraigas. 2010. Determinación de la erosividad de las precipitaciones para la localidad de Azul, provincia de Buenos Aires, Argentina. *En: Varni et*

- a/. (Eds.). Hacia la Gestión Integral de los Recursos Hídricos en Zonas de Llanura. Tomo I, Pp. 95-99.
- Arnoldus, H. 1977. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. Boletín de suelos de la FAO 34, Roma.
- Benkobi, L; MJ Trlica & JL Smith.1994. Evaluation of a refined surface cover subfactor for use in RUSLE. *J. Range Manage.* 47:74-78.
- Bertoni, J. & F Lombardi Neto. 1985. Conservação do Solo. Livrocercos. Piracicaba, Brasil. 392 pp.
- Carvalho, MP. 1987. Erosividade da chuva: distribuição e correlação com as perdas de solo de Mococa - SP. Piracicaba, SP. Tesis de maestría, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- Casas R & GF Albarracín. 2015. El deterioro del Suelo y el Ambiente en Argentina. Fundación para la Ciencia y la Cultura FECIC. Buenos Aires, Argentina. 608 pp.
- Chagas CI & OJ Santanatoglia. 2016. Uso de la tierra y procesos degradatorios en una cuenca representativa de la Pampa Ondulada. En: NMB Amaral Sobrinho; CI Chagas; E Zonta (Eds). Impactos ambientais provenientes da produção agrícola: Experiências Argentinas e Brasileiras. Pp 97-118. FAPERJ. Livre expressão. Rio de Janeiro, Brasil.
- Chagas, CI; FB Kraemer; S Utin; C Irurtia; & OJ Santanatoglia. 2011. Influencia de las propiedades edáficas y la posición en el paisaje sobre la respuesta hidrológica de suelos pertenecientes a una cuenca de la Pampa Ondulada. *Revista Cuadernos del CURIHAM* 17:15-24.
- Chagas, CI. 2007. Calidad y contaminación del agua superficial como recurso para bebida animal en una cuenca representativa de Pampa Ondulada. Tesis Doctoral (Área Toxicología). Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- Chagas, CI; OJ Santanatoglia; MJ Massobrio; MG Castiglioni; A Buján & M Yañez. 2000. La energía cinética de las lluvias como condicionante de los pulsos de escurrimiento en una microcuenca de Pampa Ondulada. En: Avances en Ingeniería Agrícola.1998/2000. Pp. 207-213. Editorial Facultad de Agronomía.
- Di Leo CM; A Aragón, R Marlats & JE Bruno. 1999. Erosividad de las precipitaciones en Tandil, Provincia de Buenos Aires. *Ci. Suelo (Argentina)* 17(2):58-61.
- Eltz, FLF; EA Cassol; PB Pascotini & RS Amorim. 2013. Potencial erosivo e características das chuvas de São Gabriel, RS, de 1963 a 1993. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental* 17(6):647-654.
- Gonçalves, FA. 2002. Erosividade das chuvas no estado do Rio de Janeiro. Tesis de Maestría. Universidad Federal de Viçosa. Minas Gerais, Brasil.
- Grimm, AM; VR Barros & ME Doyle. 2000. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *J. Climate* 13:35-58.
- Gvozdenovich, J; P Barbagelata & G López. 2015. Erosión Hídrica - USLE/RUSLE Argentina - INTA EEA Paraná. Software, Versión 2.0. URL: <http://www.inta.gob.ar/parana>.
- INTA, 1973. Carta de Suelos. Hoja 3360-33. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Pérez Millán, Buenos Aires, Argentina. E=1:50.000. 45 pp.
- Irurtia, C & G Cruzate. 2002. Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en la Provincia de Buenos Aires. Informe Técnico. INTA-Castelar. [www.inta.gov.ar/suelos/info/documentos/informes](http://www.inta.gov.ar/suelos/info/documentos/informes). 01/07/2011.
- Irurtia, C; R Berón; O Costamagna & A Glave. 1988. Provincia de Buenos Aires. En: A Prego (ed.). El Deterioro del Ambiente en la República Argentina. Prosa-FECIC. 55-64 pp.
- Jordán, A & N Bellinfante. 2000. Cartografía de la erosividad de la lluvia estimada a partir de registros pluviométricos mensuales en el Campo de Gibraltar (Cádiz). *Edafología* 7(3):83-92
- Kraemer, FB. 2011. Transport of faecal indicators microorganisms in a Rolling Pampa basin. The role of physical and chemical properties of soils and sediments. Tesis de maestría. Escuela para Graduados «Alberto Soriano», Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- Kraemer, FB; CI Chagas; G Marré; EA Palacín & OJ Santanatoglia. 2013. El desplazamiento de la ganadería por la agricultura en una cuenca representativa de la Pampa Ondulada: efectos sobre el escurrimiento superficial y la erosión hídrica. *Ci. Suelo (Argentina)* 31:83-92.
- Lal, R. 1995. Erosion-crop productivity relationships for soil of Africa. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:661-667.
- Lombardi Neto, F & WC Moldenhauer. 1980. Erosividade da chuva - sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. En: Encontro Nacional de Pesquisa sobre conservação do Solo, 3. Recife. Anais, Recife, Brasil.
- Lombardi Neto, F. 1977. Rainfall erosivity - its distribution and relationships with soil loss at Campinas, Brazil. Tesis de maestría, West Lafayette, Purdue University, United States of America.
- Maggi, AE. 2002. Una propuesta para predecir el factor de erosividad "R" para el centro y norte de la Argentina. *Rev. de la Facultad de Agronomía* 22(2-3):133-138.
- Magrin, G; MI Travasso & G Rodríguez. 2014. Impactos del clima y medidas de adaptación del sistema productivo. En: C Pascale Medina; MM Zubillaga & MA Taboada (Eds). Suelos, producción agropecuaria y cambio climático. Avances en la Argentina. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Primera Edición. 320 pp.

- Michelena R; M Eiza & P Carfagno. 2014. Erosión Hídrica. Relación con el cambio climático. En: Pascale Medina C; MM Zubillaga & MA Taboada (Eds.) Suelos, Producción Agropecuaria y Cambio climático. Ministerio Agricultura Ganadería y Pesca. Primera edición. 320 pp.
- Novelli, LE; OP Caviglia & RJM Melchiori. 2011. Impact of soybean cropping frequency on soil carbon storage in Mollisols and Vertisols. *Geoderma* 167-68:254-260.
- Oliveira Júnior, RC & BF Medina. 1990. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 14 (2): 235-9.
- Ongley, ED. 1997. Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. Estudio FAO Riego y Drenaje nº 55, FAO, Roma. 116 pp.
- Pereira, HHG. 1983. Índice de erosividade de chuvas: distribuição e relações com a precipitação em Piracicaba (SP). Tesis de maestría, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, São Paulo, Brasil.
- Pinto, P & G Piñeiro. 2012. ¿Donde están y como son los barbechos que pueden ser cultivados en Argentina y Uruguay?. Actas del XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Argentina.
- Podesta, G; F Bert; B Rajagopalan; S Apipattanavis; C Lacianna, E Weber; Easterling, W; R Katz; D Letson & A Menendez. 2009. Decadal climate variability in the Argentine Pampas: regional impacts of plausible climate scenarios on agricultural systems. *Clim. Res.* 40:199-210.
- Ravelo, AC; RV Zanvetto & PEC Boletta. 2014. Atlas de sequías de la República Argentina. CREAN. Conicet. Córdoba National University. <http://www.crean.unc.edu.ar/atlas>
- Renard KG & JR Freimund. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *J. Hydrol.* 157:287-306.
- Renard, KG; GR Foster; GA Weesies; DK McCool & DC Yoder. 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Department of Agriculture-Agriculture Handbook No. 703.
- Risse, LM; MA Nearing; AD Nicks & JM Lafren. 1993. Error assessment in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Sci. Am. J.* 57:825-833.
- Rojas AC & AA Conde. 1985. Estimación del factor R de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo para el centro-este de la República Argentina. *Ci. Suelo (Argentina)* 3(1 y 2):85-94.
- Roque, CG; Carvalho MP & RM Prado. 2001. Fator erosividade da chuva de Piraju (SP): Distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. *Rev. Bras. Ciênc. do Solo* 25:147-56.
- Rovira LA; W Corsi; F García & R Hofstadter. 1982. Erosividad de lluvias en las zonas de Influencia de las Estaciones Agroclimáticas La Estanzuela, Paysandú, Bella Unión y Treinta y Tres. MAP- IICA. 15 pp.
- Salako, FK; BS Ghuman & R Lal R. 1995. Rainfall erosivity in south-central Nigeria. *Soil Technology* 7:279-290.
- Saluso, JH. 2004. Actualización del factor "R" de la ecuación universal de pérdida de suelos (EUPS). Actas del X Reunión Argentina y IV Latinoamericana de Agrometeorología. 13 -15 de octubre del 2004. Mar del Plata, Argentina.
- Saluso, JH. 2008. Actualización del factor r de la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS) para una amplia zona del país. Período 1950/2005. En: Agricultura sustentable. Actualización técnica proyecto regional agrícola. Serie Extensión n ° 51.
- Saluzzio, M. 2010. El control de erosión en sistemas agrícolas. La experiencia en Entre Ríos. Actas de ISTRO, Colonia, Uruguay.
- Sanford, JO. 1982. Straw and tillage management practices in soybean wheat double cropping. *Agron. J.* 74:1032-1035.
- Santanatoglia OJ; CI Chagas; MJ Massobrio; MG Castiglioni & A Buján A. (Eds) 2012. Investigaciones sobre el comportamiento hidrológico y los procesos de degradación de tierras de la cuenca del arroyo del Tala, Buenos Aires, Argentina. Editorial Imagen, Daireux, Buenos Aires. 241 pp.
- Scotta, E & JJ Gvozdenovich. 2014. Factores C para el modelo USLE. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas". Producción sustentable en ambientes frágiles. Bahía Blanca, 5 al 9 de mayo de 2014.
- Sierra EM; R Hurtado & L Spescha. 1993/94. Corrimiento de las isoyetas anuales medias decenales en la región pampeana 1941-1990. *Rev. Facultad de Agronomía* 14(2):139-144.
- Sierra EM; R Hurtado R; L Spescha; I Barnatan & C Messina. 1995. Corrimiento de las isoyetas semestrales medias decenales (1941-1990) en la región pampeana. *Rev. Facultad de Agronomía* 15(2-3):137-143.
- Silva, AM. 2004. Rainfall erosion map for Brazil. *Catena* 57(3): 251-259.
- Snedecor GW & WG Cochran. 1980. Statistical methods, 7th Edn. Iowa University Press.
- Stritzler, NP; HJ Petruzzi; CA Frasinelli; JH Veneciano; CM Ferri & EF Viglizzo. 2007. Variabilidad climática en la Región Semiárida Central Argentina. Adaptación tecnológica en sistemas extensivos de producción animal. *Revista Argentina de Producción Animal* 27 (2):113-126.

- Taboada MA & R Lavado (Eds). 2009. Alteraciones de la fertilidad de los suelos. El halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones. Editorial Facultad Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 160 pp.
- Van der Knijff, JM; RJA Jones & L Montanarella, L. 1999. Soil erosion risk assessment in Italy. European Soil Bureau. EUR 19044 EN, 52pp.
- Vrieling, A. 2006. Satellite remote sensing for water erosion assessment: a review. *Catena* 65:2–18
- Viglizzo, EF; FC Frank; LV Carreno; EG Jobbágy; H Pereyra; J Clatt; D Pincén & MF Ricard. 2011. Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biol.* 17:959–973.
- Wischmeier, WH & DD Smith. 1959. Rainfall Erosion Index for a Universal Soil Loss Equation. *Proceedings of the Soil Sci. Soc. Am.* 23:246-249.
- Wischmeier, WH & DD Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. U.S.D.A. Handbook N° 537.
- Yu, B & CJ Rosewell. 1996. A robust estimator of the R-factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans. of the ASAE* 39(2):559-561.